

## ⑫ 特 許 公 報 (B2)

平4-68276

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>C 30 B 29/06  
28/06

識別記号

5 0 1 Z

庁内整理番号

7821-4G  
7821-4G

⑭公告 平成4年(1992)10月30日

発明の数 1 (全6頁)

⑮発明の名称 多結晶シリコン鑄塊の製造法

⑯特 願 昭61-314262

⑰公 開 昭63-166711

⑱出 願 昭61(1986)12月26日

⑲昭63(1988)7月9日

⑳発 明 者 金子 恭 二 郎 兵庫県尼崎市東浜町1番地 大阪チタニウム製造株式会社  
内㉑発 明 者 高 岡 尚 宏 兵庫県尼崎市東浜町1番地 大阪チタニウム製造株式会社  
内㉒出 願 人 大阪チタニウム製造株 兵庫県尼崎市東浜町1番地  
式会社

㉓代 理 人 弁理士 生形 元重 外1名

審 査 官 寺 本 光 生

㉔参 考 文 献 特開 昭61-232295 (JP, A)

## 1

## ①特許請求の範囲

1 底部が開放した炉1の下方に昇降可能に水冷  
 チルプレート6を配し、炉1内に支持された有底  
 の鑄型4に対して水冷チルプレート6を、炉1内  
 雰囲気を実質的に影響を与えない位置まで降下さ  
 せた状態で、鑄型4内を溶解シリコン2で満たす  
 とともに、炉1内をシリコン溶解温度以上の熱的  
 安定状態に保持し、この状態から水冷チルプレ  
 ート6を上昇させて鑄型4の底面5に接触させた  
 後、水冷チルプレート6を鑄型4の底面5に接触  
 させたまま降下させて、鑄型4を炉1底部より炉  
 1外に引き出し、鑄型4内の溶解シリコン2に上  
 向きの一方向凝固を生じさせることを特徴とする  
 多結晶シリコン鑄塊の製造法。

2 溶解シリコン2の一方向凝固が不活性ガス雰  
 囲気中で行われることを特徴とする特許請求の範  
 囲第1項に記載の多結晶シリコン鑄塊の製造法。

3 水冷チルプレート6を降下させて鑄型4を炉  
 1外に引き出す際に炉1内温度が制御されること  
 を特徴とする特許請求の範囲第1項または第2項  
 に記載の多結晶シリコン鑄塊の製造法。

## 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

## 2

本発明は、鑄型内に満たされた熔融シリコンを  
 鑄型の底部から積極的に奪熱することによって、  
 鑄型底から上向きに一方凝固させる多結晶シリ  
 コン鑄塊の製造法に関する。

## 5 〔従来の技術〕

このような製造法は主に太陽電池用シリコン鑄  
 塊の製造に用いられており、従来技術としては、  
 るつばを断熱チャンバー内に配置し、断熱チャン  
 バー下方壁面を除去することにより、るつば底面  
 より熱を排除する方法が特開昭60-103017号公報  
 により知られている。しかしながら、この鑄造法  
 には下記の如き問題がある。

## 〔発明が解決しようとする問題点〕

第1に、鑄塊の冷却速度が遅く、鑄塊の単位時  
 間当りの生産量が少ない。

すなわち、断熱チャンバーの下方壁面を除去す  
 る方法が採用されているために、鑄型底面からの  
 奪熱は鑄型底面からの輻射しか期待できない。一  
 般に輻射による熱量は、伝導によつて伝わる熱量  
 に比べ1/10程度あるいはそれより小さく、鑄塊を  
 十分な速度で冷却することは不可能となる。その  
 結果、18kgのシリコン鑄塊を製造するのに4時間  
 の長い凝固時間を必要としていた。

3

第2に、鋳塊の凝固速度を一定に制御することが困難なために、鋳塊の品質にむらを生じる。

すなわち、除去する下方壁面の大きさが一定であるために、鋳型底面から輻射される熱量は、鋳塊の凝固が進行するにつれて低下する鋳型底面絶対温度の更に4乗に比例して小さくなる。この結果、鋳塊の凝固面移動速度は鋳塊の下部では速く、凝固が進行するにつれ鋳塊の上部では次第に遅くなる。そして、鋳塊全体を一定な凝固速度で固化させることの困難なことが、凝固中の熱履歴に品質が敏感に左右される半導体材料の製造法では大きな問題となる。

本発明の目的は、これらの問題点を解決して、高品質でしかも品質の一定した多結晶シリコン鋳塊を生産性よく製造できる方法を提供することにある。

また、多結晶シリコン鋳塊を製造する場合、生産能率から考えると、底面に対して高さの大きい鋳塊をつくることが望まれる。しかし、このような鋳塊は、前述したように、鋳塊下部と鋳塊上部の凝固速度のちがい、およびそれによつて生じる鋳塊各部の熱履歴のちがいによつて、半導体物性が敏感に変化することから、品質確保が難しい。

本発明の今一つの目的は、底面に対して高さの大きい鋳塊を品質よく製造できる方法を提供することにある。具体的には、底面が正方形としてその一辺に対する高さの比が2/3以上の塊状シリコンの製造を可能とすることである。

〔問題点を解決するための手段〕

本発明は、多結晶シリコン鋳塊の製造に水冷チルプレートを導入したものである。

水冷チルプレートを利用して一方向凝固鋳塊を製造する方法としては、ニッケル基超耐熱合金(Alloy444)についての例が、「金属」1986年3月号P.11~16により公知である。

この方法は、第3図に示されるように、底面が開放された鋳型12を水冷チルプレートとしての水冷銅板13上にのせ、鋳型加熱炉14内を注湯金属の融点以上の温度に加熱保持した状態で溶湯を鋳込み、その後、鋳型12を水冷銅板13とともに加熱炉14から下方へ引き出すことによつて溶湯に一方凝固を与えるものである。他への適用性としては、水冷銅板13上に直接溶湯を鋳込み凝固が急激であるため、組織形成が容易で安定な

4

材料に対してしか適用できず、材料形状も図示のように底面積に対して高さの大きいものに限定される。

しかるに、多結晶シリコンの場合はデリケートな温度制御が必要で、一方向に良好な凝固組織を生長させることは、ニッケル基合金の場合と比べて非常に難しい。

すなわち、シリコンは結晶構造が原子間の共有結合からなり、ニッケル等の金属結合に比べて原子間配向に選択性が強いいため、大粒径の結晶を安定して成長させるには金属に比べてより大きな温度勾配を与えて、かつ温度勾配の大きさの変動をはるかに小さくする必要がある。

その上、単位重量当りの材料原価が高く不良部分が生じたからといってこれを簡単に切除することはできないので、凝固方向の全長で良好な組織が求められる。

このようなことから、製品形状は底面が正方形として、その一辺に対する高さの比が1程度までのものに限られる。

したがつて、第3図に示した水冷チルプレート法では多結晶シリコンを歩留りよく鋳造することは不可能である。

本発明は鋭意工夫により、多結晶シリコンの鋳造に対して水冷チルプレート法の適用を可能ならしめ、これによつて前述の従来方法(特開昭60-103017号公報)における問題点を全て解決したものである。

本発明法の特徴とするところは、第1図および第2図に示されるように、底部が開放した炉1の下方に昇降可能に水冷チルプレート6を配し、炉1内に支持された有底の鋳型4に対して水冷チルプレート6を、炉1内雰囲気を実質的に影響を与えない位置まで降下させた状態で、鋳型4内を溶解シリコン2で満たすとともに、炉1内をシリコン溶解温度以上の熱的安定状態に保持し、この状態から水冷チルプレート6を上昇させて鋳型4の底面5に接解させた後、水冷チルプレート6を鋳型4の底面5に接解させたまま降下させて鋳型4を炉1底部より炉1外に引き出し、鋳型4内の溶解シリコン2に上向きの一方向凝固を生じさせる点にある。

このような一方向凝固は、外気から遮断された容器内で不活性ガス雰囲気下において行われても

5

よい。

〔作用〕

本発明法によれば、鋳塊の凝固速度を非常に速くすることが可能で、鋳塊の単位時間当りの生産重量を多くすることができる。

すなわち、鋳塊の冷却速度は鋳型底面 5 から流出する単位時間当りの熱量の大きさによって決まるので、鋳型 4 の底面 5 に直接に水冷チルプレート 6 を接触させれば、単なる輻射による熱の流出に比較して、流出熱量は大きくなり、冷却速度もこれに比例する。

この場合、鋳型 4 の底面 5 と水冷チルプレート 6 との接触面積を大きくすることが、鋳塊の冷却速度を速くするためにさらに有効である。

また、鋳型 4 の広い範囲の底面 5 を水冷チルプレート 6 と接触させた場合、鋳塊の太陽電池としての品質を向上するためにも有効である。

鋳型底面 5 を広い範囲で冷却すれば結晶の成長が鋳型底面 5 の全面から垂直方向に向かい、多結晶太陽電池基板では、凝固後の鋳塊を結晶成長方向に対して垂直に切り出せば、切り出された基板は結晶粒界をもつとも少なく含む結晶配向を与える。結晶粒界は結晶の乱れた部分であり、太陽電池作製時の P-n 接合部の不整を作る原因になり易い。

本発明法では又、凝固開始前に水冷チルプレート 6 が鋳型底から十分に離れた場所に置かれているので、鋳型 4 の底部を不要に冷やすことがなく、これによつて凝固開始前の溶解シリコンを一樣温度の溶解状態にすることができる。このように凝固開始前の鋳型 4 内の温度が水冷チルプレート 6 を設置しても高温状態に保てる機能が、鋳塊を凝固させてからの鋳塊品質の均質化と大きな冷却速度を達成できる要素になつている。

さらに本発明法によれば、炉 1 内温度制御と鋳型 4 降下速度制御との組合せで鋳塊の凝固速度が調整されるので、この凝固速度を制御することが可能かつ容易となり、こうすることによつて鋳塊の品質を高精度に制御できる。

〔実施例〕

先ず、本発明法の実施に適した装置の説明を第 1 図および第 2 図により行う。第 1 図は鋳型 4 の底面 5 に水冷チルプレート 6 を接触させる前の段階、第 2 図は接触後、鋳型 4 とともに水冷チル

6

プレート 6 を降下させている段階を示している。

炉 1 は均熱炉であつて、図示していない支持手段に支持固定され、内側に加熱体 3 を備え、底部が開放した構造となつている。

5 炉 1 底部の開放部には筒状の延長部 10 が備わり、その内側に筒状の断熱体 7 が昇降可能に配設され、更にその内側で水冷チルプレート 6 が昇降するようになつている。

断熱体 7 は、鋳型 4 の支持体である一方、水冷チルプレート 6 が上昇する前の段階において鋳型 4 の底面 5 と水冷チルプレート 6 との間の空間に 10 炉 1 内の熱が吸収されるのをその上縁部 7' により効果的に防止する。更に、水冷チルプレート 6 が上昇した後の凝固進行段階にあつては、炉 1 内下部の温度降下を防止し、未凝固の溶解シリコン 2 の温度降下を防ぐ。これらは溶解シリコン 2 の凝固速度制御精度を高める上で効果的に働き、品質向上に寄与する。また、水冷チルプレート 6 の初期停止位置を高くすることができ、そのストロークを短縮することが可能となる。

20 断熱体 7 を設けない場合、このストロークを長くとり、かつ断熱体 7 に代る鋳型 2 の支持体を設けることが必要である。

断熱体 7 としては、熱伝導率を小さくした、グラファイト質整形体等が好ましい。

25 なお、水冷チルプレート 6、断熱体 7 のいずれのストロークも、炉 1 内に鋳型 4 を出し入れする際の阻げにならないように設定されることは言うまでもない。

30 第 1 図および第 2 図の装置を使用した本発明法の手順を温度制御を中心にして以下に説明する。

炉 1 内の温度はシリコンの溶解温度 (1415℃) 以上が必要であるが、高すぎると熱経済性を悪化させるので通常は 1500℃ 以下とするのがよく、こ 35 こでは後記する理由により 1450℃ を目標とした。

手順としては先ず、水冷チルプレート 6、断熱体 7 とともに炉 1 外に降下させ、断熱体 7 の上に鋳型 4 を載せた後、断熱体 7 を上昇させて鋳型 4 を炉 1 内に装入する。

40 次に、炉 1 内に均等間隔で配置された複数個の発熱体 3 によつて 1450℃ の均一な温度に加熱保持される。このとき、水冷チルプレート 6 は炉 1 内に熱影響を実質的に与えない位置まで降下させておく必要がある。

7

鋳型 4 は内面に耐火性の粉末層 8 を塗布形成し、内部に溶解シリコン 2 を収容している。鋳型 4 内の溶解シリコン 2 は溶解した状態で鋳型 4 に注入されたか、あるいは塊状の固体シリコンが装入されたのであれば、これを溶解して1450℃の均一温度にしたものである。

このとき、鋳型底の中心を通る垂直方向に温度測定用の複数本の熱電対を鋳型 4 の底面 5 から溶解シリコン 2 の表面まで等間隔に熱電対保護管を用いて設置して、溶解シリコン 2 の温度を鋳型底から垂直方向に測定した結果は、鋳型底面 5 で1415℃を示しているほかは、1450℃を指示していた。

このことから、炉 1 内温度を1450℃未満に設定した場合には、鋳型 4 の底部 5 で1415℃未満になり、この温度はシリコンの溶解温度 (1415℃) よりも低いために、鋳型底のシリコンの一部がすでに固化する。よって、今回の炉 1 内目標温度は1450℃にした。こうすれば鋳型 4 内のシリコンを全部溶解することが可能である。

そして、炉 1 内が1450℃で熱的な定常状態に達したとき、水冷チルプレート 6 を下方から上昇させて鋳型底面 5 と接触させる。接触後、直ちに鋳型底面 5 の温度が下降して溶解シリコン 2 が鋳型底から凝固を開始し、鋳型底から薄いシリコンの固化層が生成する。

ただし、この状態を変化させなければ、固化層の進行速度は急激に小さくなる。これは炉 1 内が1450に保持されて溶解したシリコンの温度が高いために溶解シリコン 2 のもつ潜熱が大きく、固化層を通して鋳型底面 5 から流出する熱量が大きな凝固速度を保つためには不十分であるためである。

よって、さらに鋳塊を上向きに固化させ結晶成長させるために、炉 1 内温度を低下させ、かつ鋳型底面 5 と水冷チルプレート 6 を接触させたまま断熱体 7 も降下させ、高温の炉 1 から鋳型 4 を炉外に引き出して鋳型 4 の下部をさらに冷却させることが必要となる。この一連の凝固過程では、つぎのような冷却条件を与えることによつて、凝固速度を一定にすることができる。

すなわち、炉 1 内の温度を1450℃から1415℃まで直線的に凝固終了の時間までに下降させ、同時に、水冷チルプレート 6 および断熱体 7 の下降速

8

度、すなわち鋳型 4 の炉 1 からの引出し速度として、凝固終了時の鋳塊の表面の高さが炉 1 の炉床面の高さと同じになる一定の速度を与えるのである。

5 このような操作によつては鋳塊は一定の凝固速度で固化し、これは先述した鋳型底の中心を通る垂直方向に設置した複数本の熱電対の温度測定によつて確認することができる。

10 以上のような手順によつて、単位時間当りの生産重量が多く、かつ均質な鋳塊を作ることができる。

次に、本発明法を以上の手順により実際に実施した結果を述べる。

15 高純度の炭素およびフェルト状の炭素材によつて内張りした炉 1 の中には、4つの側面の上中下の三段および上面に板状の炭素質の発熱体 3 を配置した。鋳型 4 は高純度炭素材から出来ており、幅が内寸で33cm、高さが27cmの寸法をもち、側面および底面の厚さはそれぞれ4cmであつた。

20 この鋳型 4 の内面には窒化珪素の粉末からなるコーティング層 8 を塗布して P 型1Ω・cmのドーパを含む60kgの溶解シリコン 2 を満たした。

また鋳型底の中心を通る垂直線上には高純度石英管を熱電対用保護管として10本の白金-白金・ロジウムの熱電対を鋳型底を起点として25mm間隔で設置した。

30 鋳型 4 の底面 5 と接触する水冷チルプレート 6 は幅が30cmあり、厚さが8cm材質がグラフアイト質整形体の断熱体 7 の下方、鋳型底面 5 からの距離40cmの場所を初期停止位置とした。

炉 1 内を1450℃に設定したときの熱的な定常状態下では溶解シリコン 2 の各場所の温度は、鋳型 4 の底面 5 で1415℃を指示したが、他の熱電対の場所では1450℃を示した。

35 この熱的な定常状態に達した後に、断熱体 7 を降下させて鋳型 4 の底面 5 の高さが炉 1 の炉床面 9 と同一の高さになるまで速やかに移動させた。鋳型底面 5 の高さと炉床面 9 の高さが同一になった時、水冷チルプレート 6 を下方から速やかに上昇させて鋳型底面 5 と接触させた。接触すると直ちに溶解シリコン 2 中の鋳型 4 の底に設置した熱電対の温度指示は下降を始め、鋳型底面 5 からシリコンの凝固が始まったことが解つた。

また、水冷チルプレート 6 と鋳型底面 5 が接触

すると同時に、炉 1 内の温度を1450℃から毎分0.2℃の割合で1415℃まで下降させ、鑄型 4 も毎分1.3mmの割合で下降させて炉 1 から引き出した。

このようにして鑄塊の凝固を進行させた結果、鑄型底の中心を通る垂直方向に等間隔で設置した熱電対の温度指示は毎分1.3mmの速度で凝固が進行していることを示し、60kgの鑄塊が3時間で凝固終了した。

凝固終了後の鑄塊を常温まで冷却して切り出したところ、結晶の成長方向は鑄型底面 5 から垂直になつており、結晶粒径も1~5mmと大きく、平均で2mmに達した。この粒径は太陽電池用の多結晶基板として十分な大きさであり、鑄塊の各部分から結晶成長方向に対して垂直に切り出した幅10cm×10cm、厚さ400μmの基板を太陽電池に供したところ、各部分の基板とも光電変換効率で13%を超えた。

#### 〔発明の効果〕

以上の説明から明らかなように、本発明法によれば多結晶シリコン鑄塊の製造において、大きな重量の鑄塊を製造する場合にも鑄型の底面を広い面積に渡つて直接に水冷チルプレートに接触させることにより、効果的に冷却して大きな生産速度

を得ることができる。更に、水冷チルプレートを予め降下させておくことによつて、凝固開始前の炉内の温度降下を防止する一方、凝固開始後は炉内温度制御と鑄型を炉外に引き出すことによつて凝固速度が効果的に制御され、製品の品質が大巾に高められる。

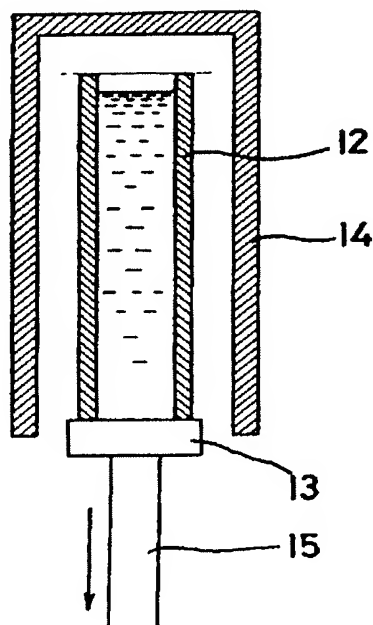
本発明法の実施の結果では、60kgのシリコン鑄塊を鑄型底面から完全に垂直方向に結晶成長させ、毎分1.3mmの凝固速度を保持しながら3時間で凝固終了させることができた。この鑄塊から得られた基板においても、鑄塊各部分で太陽電池の光電変換効率が13%を超えており、本発明法が生産性を高め、かつ均質、高品質な鑄塊を製造するのに有効であることがわかる。

#### 15 図面の簡単な説明

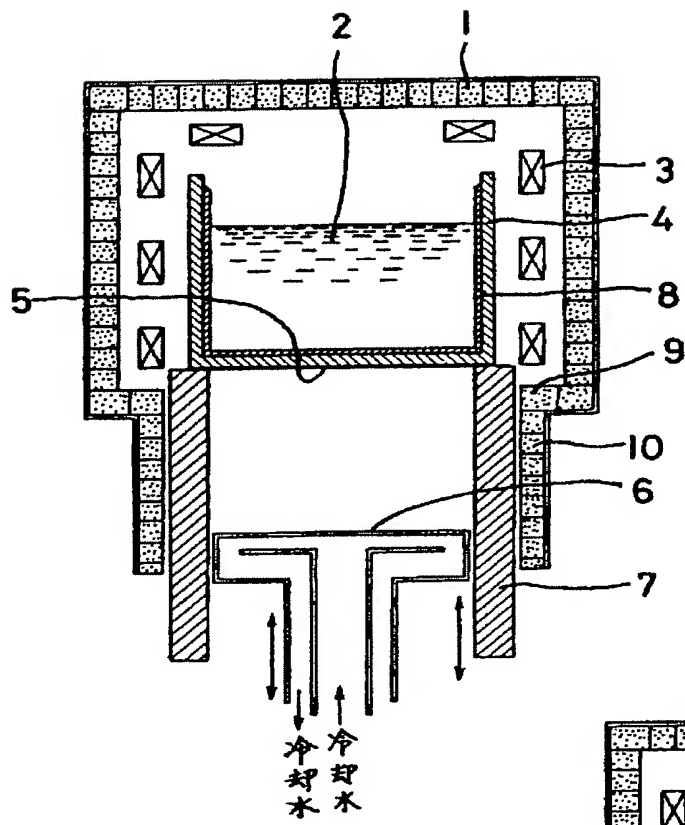
第1図および第2図は本発明の実施例で用いた鑄塊製造装置を示した縦断面図で、第1図は凝固開始前の段階、第2図は凝固過程を示す。第3図は一方向凝固法の従来例を示す模式断面図である。

1……炉、2……溶解シリコン、3……発熱体、4……鑄型、5……鑄型4の底面、6……水冷チルプレート、7……断熱体。

第3図



第1図



第2図

